

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
6. Mai 2004 (06.05.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/038329 A2(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G01C 19/00**[DE/DE]; Häge 14, 79111 Freiburg (DE). SPAHLINGER,
Günter [DE/DE]; Hagbergstrasse 7, 70188 Stuttgart (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/010328

(22) Internationales Anmeldedatum:
17. September 2003 (17.09.2003)(74) Anwalt: MÜLLER, Frithjof, E.; Müller, Hoffmann &
Partner, Innere Wiener Strasse 17, 81667 München (DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(81) Bestimmungsstaaten (national): PL, US.

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

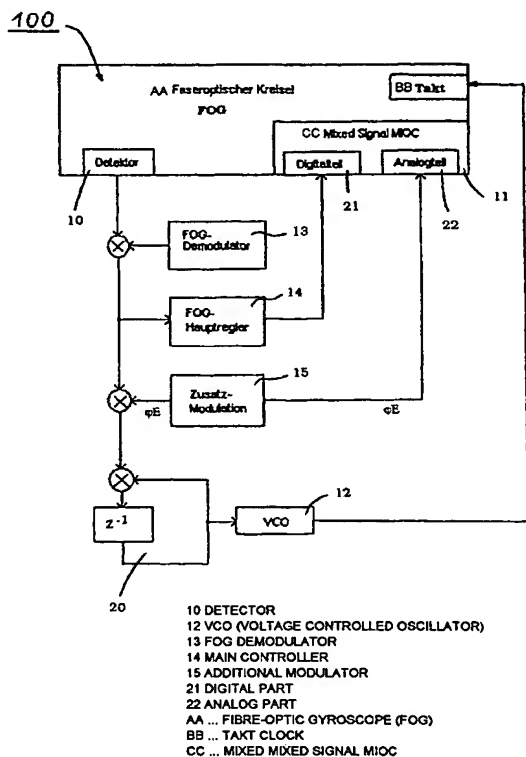
(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).(30) Angaben zur Priorität:
102 45 540.6 30. September 2002 (30.09.2002) DE

Veröffentlicht:

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): LITEF GMBH [DE/DE]; Lörracherstrasse 18, 79115
Freiburg (DE).— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu ver-
öffentlichen nach Erhalt des Berichts

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): VOIGT, Sven

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der
PCT-Gazette verwiesen.(54) Title: METHOD FOR REGULATING THE OPERATING FREQUENCY OF THE OPTICAL MULTIFUNCTIONAL INTE-
GRATED CIRCUIT CHIP FOR A FIBRE-OPTIC GYROSCOPE(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR REGELUNG DER ARBEITSFREQUENZ UND MULTIFUNKTIONALER
INTEGRIERT-OPTISCHER CHIP EINES FASEROPTISCHEN GYROSKOPS

(57) Abstract: The invention relates to a method for regulating the operating frequency of the optical multifunctional integrated circuit chip for a fibre-optic gyroscope (FOG 100) which is provided with closed control loop. The inventive method consists, in triggering the input of a main FOG controller (14) and a voltage controlled oscillator (VCO) (12) which determines the clock system of the FOG with the aid of an blanking filter (20), by means of the output demodulated signal of a FOG detector (10) in the form of a actual signal. According to said invention, an additional modulating signal in the form of an analog signal (ϕE) is supplied to separate correcting electrodes which are embodied together with the electrodes of a digital phase modulator in the integrated optical circuit chip (MIOC) (11). The inventive method and the particular structural design of the MIOC (11) make it possible to accurately adjust the operating frequency of the FOG

(57) Zusammenfassung: Bei dem Verfahren zur Regelung der Arbeitsfrequenz eines faseroptischen Gyroskops (FOG 100) mit geschlossener Regelschleife, bei welchem das demodulierte Ausgangssignal des FOG-Detektors (10) als Ist-Signal einerseits den Eingang eines FOG-Hauptreglers (14) und andererseits über ein Austastfilter (20) einen den Systemtakt des FOG bestimmenden VCO (12) beaufschlagt, ist erfindungsgemäss vorgesehen ein Zusatzmodulationssignal als Analogsignal (ϕE) separaten Phasenkorrektorelektroden zuzuführen, die zusammen mit den Elektroden eines digitalen Phasenmodulators in einem integriert-optischen Chip (MIOC 11) ausgebildet sind. Durch das erfindungsgemässe Verfahren und die besondere Gestaltung des MIOC (11) lässt sich die Arbeitsfrequenz des FOG exakt regeln.

1 **Verfahren zur Regelung der Arbeitsfrequenz und
multifunktionaler integriert-optischer Chip eines
faseroptischen Gyroskops**

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung der Arbeitsfrequenz eines
faseroptischen Gyroskops (FOG) mit geschlossener Regelschleife, bei welchem das
demodulierte Ausgangssignal des FOG-Detektors als Ist-Signal einerseits den Ein-
gang eines FOG-Hauptreglers und andererseits über ein Austastfilter einen den Sy-
stemtakt des FOG bestimmenden VCO beaufschlagt, wobei das Ausgangssignal des
10 Hauptreglers als Modulationssignal einem in einem multifunktionalen optischen
Chip (MIOC) ausgebildeten digitalen Phasenmodulator zugeführt wird, und wobei
zur Bestimmung und Regelung der exakten Arbeitsfrequenz des FOG dem demodu-
lierten, zum Austastfilter gelangenden Detektorausgangssignal ein periodisches Zu-
satzmodulationssignal überlagert wird. Die Erfindung bezieht sich außerdem auf
15 einen multifunktionalen integriert-optischen Chip (MIOC) für ein faseroptisches Gy-
roskop (FOG).

In DE 197 53 427 C1 ist ein digitaler Phasenmodulator, insbesondere für faseropti-
sche Drehratensensoren mit geschlossener Regelschleife, beschrieben, bei dem zur
20 Erhöhung der Auflösung ein niedersignifikanter Anteil eines von einem FOG-
Hauptregler gelieferten binären Ansteuersignals über einen Digital/Analog-Wandler
relativ niedriger Auflösung in ein Analogsignal gewandelt wird, das einer auf dem
digitalen Phasenmodulator enthaltenden integriert-optischen Chip separat vor-
gesehenen weiteren Elektrode zugeführt wird. Damit lässt sich die Auflösung von
25 beispielsweise 8 auf ca. 10 Bit erhöhen. Die separate Elektrode oder gegebenenfalls
ein separates Elektrodenpaar ist dem digitalen Phasenmodulator unmittelbar zuge-
ordnet.

In der nicht vorveröffentlichten DE-Patentanmeldung 101 30 159.6 wird ein Verfah-
30 ren zur Vermeidung von Bias-Fehlern aufgrund synchroner Einstreuung bei fa-
seroptischen Gyroskopen mit geschlossener Regelschleife vorgeschlagen, bei dem
vorgesehen ist, dem demodulierten Ausgangssignal des FOG-Detektors ein im Ab-
tasttakt des FOG periodisches Signal in Form einer Zusatzmodulation am digitalen
Phasenmodulator innerhalb eines multifunktionalen integrierten optischen Chips
35 zu überlagern. Die im demodulierten Detektorsignal vorhandenen Reste dieser Zu-
satzmodulation werden detektiert und einem Hilfsregelkreis zugeführt, welcher die
Arbeitsfrequenz so nachregelt, dass die Zusatzmodulation möglichst zu Null wird.

1

Die Implementierung dieses bekannten Verfahrens, die zu einer erheblichen Erhöhung der Genauigkeit bei FOGs führt, hat jedoch in der Praxis durch die Verwendung eines gemischten Ansteuersignals am Phasenmodulator des MIOCs zu praktischen Schwierigkeiten, insbesondere zu einem gewissen Zielkonflikt, geführt, wenn gleichzeitig versucht wird, die Auflösung des digitalen Phasenmodulators ohne Vergrößerung der Baulänge des MIOCs anders zu lösen als in der oben genannten DE-Patentschrift beschrieben. Dies gilt insbesondere dann, wenn der Phasenmodulator zur Erhöhung der Auflösung mit nicht-binären Ansteuersignalen betrieben werden soll.

10

Der Erfindung liegt damit die Aufgabe zugrunde, das Verfahren zur Regelung der Arbeitsfrequenz eines FOG zu vereinfachen.

15

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Gattung gemäß der Erfindung dadurch gelöst, dass ein periodisches Zusatzsignal zur Frequenzbestimmung bzw. Frequenzregelung des FOG als Analogsignal separaten im MIOC ausgebildeten Phasenkorrektur-Elektroden zugeführt wird.

20

Ein multifunktionaler integriert-optischer Chip (MIOC) für ein faseroptisches Gyroskop, in dem als mindestens eine Funktionsgruppe ein durch parallel zu einer Lichtführungsstrecke angeordnete Elektroden realisierter Phasenmodulator implementiert ist, eignet sich zur Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens dadurch, dass gemäß der Erfindung zusätzlich zum Phasenmodulator ein parallel zur Lichtführungsstrecke angeordnetes Elektrodenpaar vorhanden ist zur Beaufschlagung eines Lichtstrahls auf der Lichtführungsstrecke mit einem periodischen Zusatzmodulationssignal zur Regelung der Arbeitsfrequenz des Gyroskops.

25

30

Eine optimierte Baugröße des integriert-optischen Chips lässt sich dann erzielen, wenn das zusätzliche Elektrodenpaar zwischen dem digitalen Phasenmodulator und einem Strahlteiler innerhalb des Chip angeordnet ist.

Die Erfindung und vorteilhafte Einzelheiten werden nachfolgend unter Bezug auf die Zeichnungen in beispielsweise Ausführungsform näher erläutert. Es zeigen:

35

Fig. 1 ein schematisiertes Blockschaltbild der Architektur eines FOGs mit Darstellung der erfindungsgemäßen Arbeitsfrequenzregelung;

1 und

Fig. 2 in etwas vereinfachter Darstellung die Draufsicht auf einen multifunktionalen integriert-optischen Chip (MIOC) mit zusätzlichen Elektroden zur vorteilhaften Realisierung des erfindungsgemäßen Regelverfahrens.

Die optische Architektur eines faseroptischen Kreisels wird als grundsätzlich bekannt vorausgesetzt; sie ist daher in Fig. 1 nur als Block 100 dargestellt. Das vom Detektor 10 des FOG 100 gelieferte Messsignal, das die Drehrateninformation enthält, wird durch einen FOG-Demodulator 13 demoduliert und beaufschlagt, da es sich um einen faseroptischen Kiesel mit geschlossener Regelschleife handelt, den Eingang eines FOG-Hauptreglers 14, der unter anderem ausgangsseitig ein vorzugsweise nicht-binäres U_{π} - bzw. Rückstellsignal an einen in einem multifunktionalen integriert-optischen Chip, d. h. einem MIOC 11, ausgebildeten digitalen Phasenmodulator 24 liefert, der in spiegelsymmetrischer Ausführung in grundsätzlich bekannter Weise die nach einer Strahlteilung 23 entstandenen und gegenläufig eine (nicht gezeigte) Messspule durchsetzende Lichtstrahlen auf zwei Lichtführungsstrecken L1, L2 beeinflusst (vgl. Fig. 2). Außer dem FOG-Demodulator 13 und dem FOG-Hauptregler 14 ist eine Zusatzmodulationseinrichtung 15 vorhanden, deren periodisches Signal ϕE einerseits dem Modulationssignal vom FOG-Hauptregler überlagert wird und dann über ein Austastfilter 20 einen spannungssteuerbaren Oszillator VCO 12 steuert, der den Arbeitstakt des FOG-Kreiselsystems bestimmt. Erfindungsgemäß gelangt das Zusatzmodulationssignal ϕE auf einen im MIOC 11 ausgebildeten Analogteil, der - wie die Fig. 2 zeigt - durch ein zusätzliches vom digitalen Phasenmodulator unabhängiges Elektrodenpaar 25 realisiert ist. Auf die zusätzliche Elektrode, bzw. im dargestellten Beispiel der Fig. 2 das Elektrodenpaar 25, wird also das im Abtasttakt periodische Zusatzmodulationssignal ϕE mit kleiner Amplitude gegeben und erzeugt typischerweise - jedoch in keiner Weise einschränkend - eine maximale Phasenverschiebung von $\pi/32$. Diese Phasenverschiebung ist ausreichend, um nach der Demodulation ein Signal zu erzeugen, welches über das Austastfilter 20 den VCO 12 so steuert, dass die gewünschte Arbeitsfrequenz des FOG-Systems exakt eingehalten wird. Abweichend von der in der nicht vorveröffentlichten DE-Patentanmeldung 101 30 159.6 beschriebenen Lösung wird das periodische Zusatzmodulationssignal ϕE zur Bestimmung der Kreiselfrequenz nicht dem digitalen MIOC-Modulationssignal hinzuaddiert, sondern wird direkt auf die zusätzliche Analelektrode bzw. das Elektrodenpaar 25, also

- 4 -

1 auf den Analogteil 22 des MIOCs 11 gegeben.

Der besondere Vorteil der Erfindung ist, dass das Zusatzmodulationssignal ϕE
nicht digital umgesetzt werden muss, und eine Addition von Modulationssignal und
5 Zusatzmodulation entfällt.

10

15

20

25

30

35

1

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Verfahren zur Regelung der Arbeitsfrequenz eines faseroptischen Gyroskops (FOG) mit geschlossener Regelschleife, bei welchem das demodulierte Ausgangssig-
5 nal des FOG-Detektors als Ist-Signal einerseits den Eingang eines FOG-Hauptreglers und andererseits über ein Austastfilter einen den Systemtakt des FOG bestimmenden VCO beaufschlagt, wobei das Ausgangssignal des Hauptreglers als Modulationssignal einem in einem multifunktionalen integriert-optischen Chip (MIOC) ausgebildeten digitalen Phasenmodulator zugeführt wird, und wobei zur Be-
10 stimmung und Regelung der exakten Arbeitsfrequenz des FOG dem demodulierten, zum Austastfilter gelangenden Detektorausgangssignal ein periodisches Zusatzmodulationssignal überlagert wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Zusatzmodulationssignal als Analogsignal separaten im MIOC ausgebildeten Phasen-Korrektur-
elektroden zugeführt wird.

15

2. Multifunktionaler integriert-optischer Chip (MIOC 11) für ein faseroptisches Gyroskop (FOG 100), in dem als mindestens eine Funktionsgruppe ein durch paral-
lel zu einer Lichtführungsstrecke angeordnete Elektroden realisierter Phasenmodu-
lator (21) implementiert ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass zusätzlich zum Pha-
20 senmodulator ein parallel zur Lichtführungsstrecke angeordnetes Elektrodenpaar (25) vorhanden ist zur Beaufschlagung eines Lichtstrahls auf der Lichtführungsstrecke mit einem periodischen Zusatzmodulationssignal (ϕE) zur Re-
gelung der Arbeitsfrequenz des Gyroskops.

25 3. Integriert-optischer Chip nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das zusätzliche Elektrodenpaar zwischen dem Phasenmodulator und einem Strahl-
teiler (23) angeordnet ist.

30

35

1/2

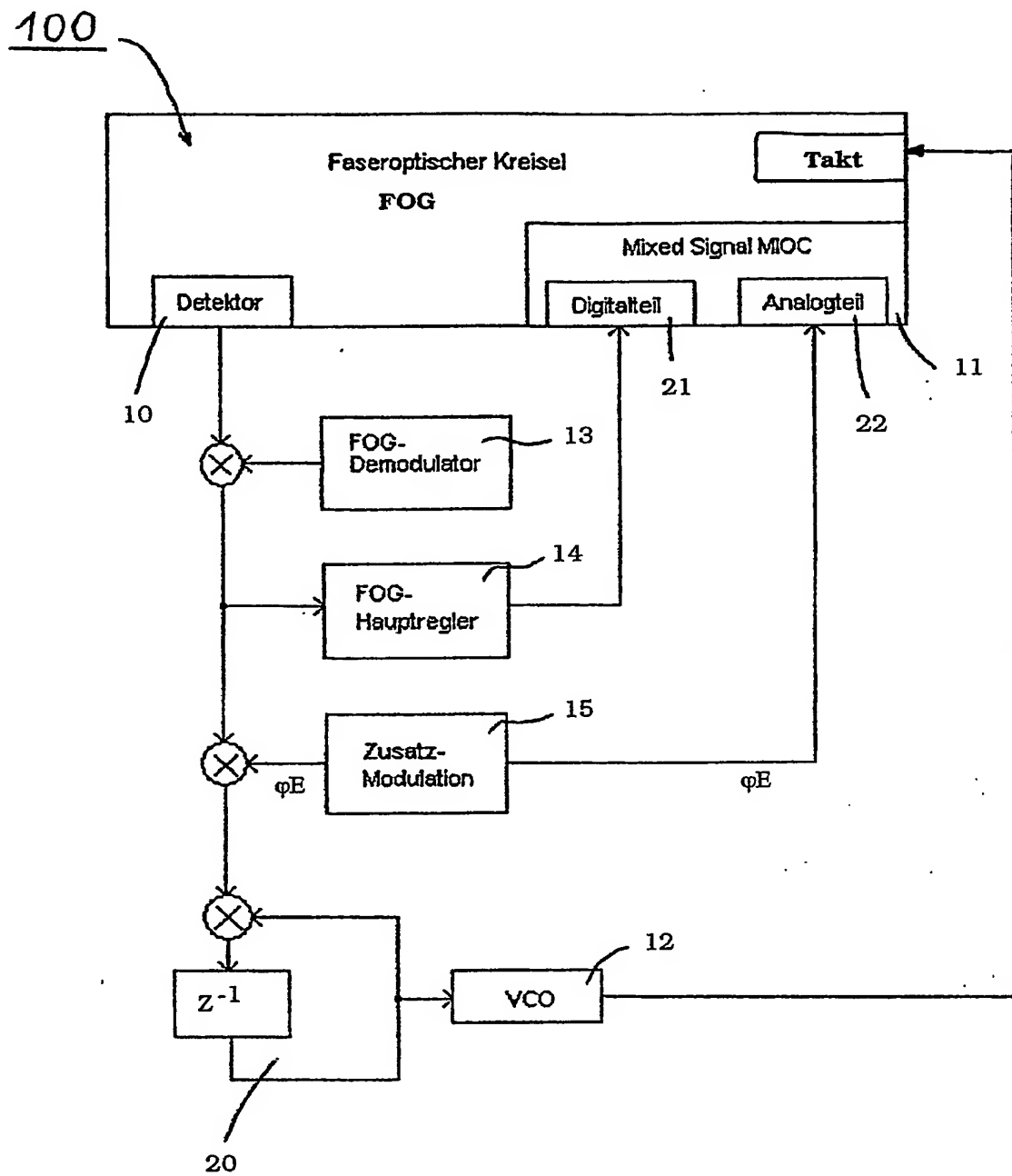


Fig. 1

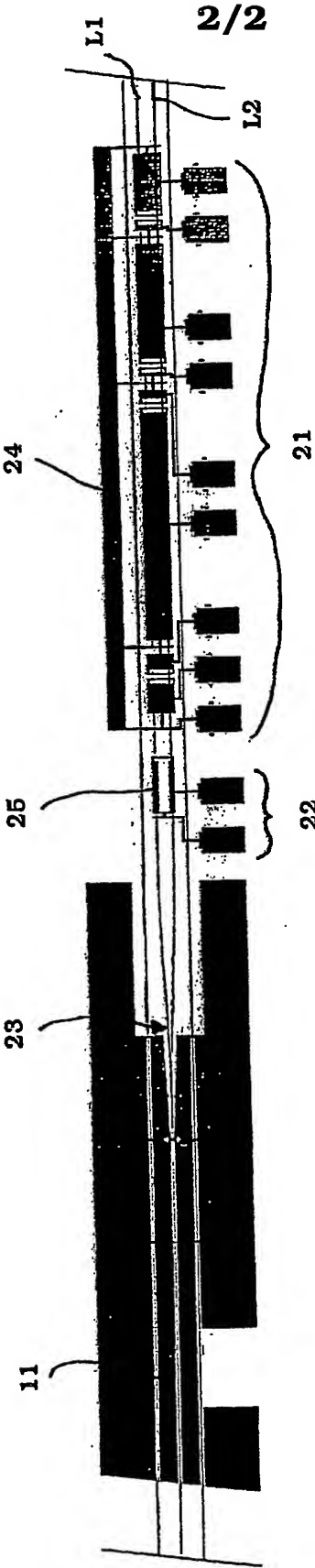


Fig. 2